EXAMEN SCHEIKUNDE VWO 2000, EERSTE TIJDVAK, opgaven

## Bleekmiddel 2000-I(I)

Aan veel wasmiddelen is een bleekmiddel toegevoegd. Men schrijft de blekende werking toe aan de vorming van zuurstofatomen die vervolgens met moleculen van bijvoorbeeld een gekleurde vlek in het wasgoed reageren. Een veel gebruikt bleekmiddel is natriumperboraattetrahydraat (NaBO3.4H2O).

Als een wasmiddel aan water wordt toegevoegd, lost het natriumperboraattetrahydraat op, waarbij als ionen natriumionen en perboraationen (BO3−) ontstaan. Het ontstane waswater is enigszins basisch.

Men neemt aan dat de vorming van zuurstofatomen uit perboraationen plaatsvindt via drie achtereenvolgende reacties:

BO3− + H2O ⇌ H2O2 + BO2− (reactie 1)
H2O2 + OH− ⇌ H2O + HOO− (reactie 2)
HOO− → OH− + O (reactie 3)

Het HOO− ion heet het waterstofperoxide-ion.

1. 4p Geef de elektronenformule van het waterstofperoxide-ion. Zet daarbij de lading bij het juiste atoom.

De reacties 1 en 2 zijn evenwichtsreacties. Van alle drie reacties verloopt reactie 3 het langzaamst. De snelheid van reactie 3 is pas bij ongeveer 60 °C groot genoeg om de blekende werking van het waswater merkbaar te maken.

1. 4p Leg mede aan de hand van de bovengenoemde reacties uit of naar verwachting de blekende werking in waswater van 60 °C met een pH = 9 sterker is dan, zwakker is dan, of gelijk is aan de blekende werking in waswater van 60 °C met een pH = 8.

De vorming van zuurstofatomen uit waterstofperoxide-ionen verloopt bij 40 °C zo langzaam dat geen blekende werking merkbaar is. Om bij 40 °C toch voldoende blekende werking te krijgen heeft men aan wasmiddel dat natriumperboraattetrahydraat bevat, ook de stof TAED (tetraacetylethyleendiamine, C10H16N2O4) toegevoegd. Moleculen van deze stof reageren met waterstofperoxide-ionen.

Bij die reactie ontstaan moleculen van de stof DAED (diacetylethyleendiamine, C6H12N2O2) en peracetaationen ():

C10H16N2O4 + 2 HOO− → C6H12N2O2 + 2  (reactie 4)

 TAED DAED

Vervolgens ontleden bij 40 °C de peracetaationen snel in acetaationen en zuurstofatomen:

 →  + O (reactie 5)

Men neemt aan dat zowel de reactiewarmte van reactie 5 als de reactiewarmte van reactie 3 uitsluitend wordt bepaald door het verbreken van de binding tussen twee zuurstofatomen in het desbetreffende ion. Toch verloopt reactie 5 bij 40 °C aanzienlijk sneller dan reactie 3.

Hieronder staan vier energiediagrammen (diagrammen a, b, c, en d). In deze diagrammen behoort het linker niveau bij de deeltjes die reageren en het rechter niveau bij de deeltjes die ontstaan. Eén van de diagrammen geeft het verloop van reactie 3 weer en één van de andere diagrammen geeft het verloop van reactie 5 weer.



1. 4p Leg uitgaande van bovenstaande gegevens uit welk van de diagrammen het verloop van reactie 3 weergeeft en welk van de diagrammen het verloop van reactie 5.

Een bepaald wasmiddel bevat 3,0 massaprocent TAED en bevat zoveel natriumperboraattetrahydraat dat al het TAED door het natriumperboraattetrahydraat kan worden omgezet.

1. 4p Bereken hoeveel massaprocent natriumperboraattetrahydraat het wasmiddel minstens zal bevatten. De massa van een mol TAED is 228 gram.

## Cubaan 2000-I(II)

Cubaan is een koolwaterstof met de formule C8H8. De acht koolstofatomen van een cubaanmolecuul zitten op de hoekpunten van een denkbeeldige kubus. De bindingen tussen de koolstofatomen vormen de ribben van de kubus:



Voor de bindingsenergie van de C−H bindingen in cubaan geldt de waarde die in Binastabel 58 voor C−H (overige) is vermeld. Voor de bindingsenergie van de C−C bindingen in cubaan geldt een andere waarde dan de waarde die in tabel 58 voor C−C is vermeld. Dit komt doordat de C−C bindingen in een cubaanmolecuul ongebruikelijke hoeken (90°) met elkaar maken.

1. 6p Bereken de bindingsenergie in J mol−1 (298 K) van C−C in cubaan. Maak bij de berekening onder andere gebruik van de volgende gegevens:

de reactiewarmte van de vorming van gasvormig cubaan volgens 8 C(s) + 4 H2(g) → C8H8(g) is (omgerekend naar 298 K en *p* = *p*o)gelijk aan +6,2⋅105 J mol−1;

de sublimatie-energie van koolstof (grafiet) is gelijk aan + 7,15⋅105 J mol−1 (298 K en *p* = *p*o)*.*

Cubaan kan niet direct uit koolstof en waterstof gemaakt worden. Er zijn echter verschillende andere bereidingswijzen bekend.

Bij één van de bereidingswijzen van cubaan worden drie achtereenvolgende reacties toegepast.

Bij de eerste reactie maakt men de verbinding met de volgende structuurformule:



Voor het maken van deze verbinding laat men uitsluitend één stof reageren: een verbinding met de molecuulformule C5H3BrO. Deze reactie is op te vatten als een additiereactie (zonder dat daarbij binnen C5H3BrO atomen worden verplaatst).

De verbinding C5H3BrO is een zogenoemd meervoudig onverzadigd cyclisch keton. Aan de hand van bovenstaande gegevens kan de structuurformule van C5H3BrO afgeleid worden.

1. 4p Geef de structuurformule van deze verbinding C5H3BrO.

Bij de tweede van de drie reacties ter bereiding van cubaan wordt het reactieproduct van de eerste reactie omgezet in een verbinding met de volgende structuurformule:



In de formule van het laatstgenoemde reactieproduct worden de koolstofatomen als volgt genummerd:



De systematische naam van de verbinding met deze structuurformule is cubaan-1,4-dicarbonzuur.

Ook de andere cubaandicarbonzuren C8H6(COOH)2 waarvan men het bestaan mag verwachten, zijn bekend.

1. 4p Geef de systematische namen van die andere cubaandicarbonzuren.

Cubaan is een vaste stof met een smeltpunt van 130 °C. Benzine bestaat uitsluitend uit verbindingen die in de buitenlucht gemakkelijk verdampen.

Men heeft een oplossing van cubaan in benzine (met 30 massaprocent cubaan) gebruikt als brandstof voor raceauto's die aan wedstrijden meededen. De verbrandingswarmte van een liter van deze oplossing is groter dan de verbrandingswarmte van een liter benzine zonder cubaan erin. Om de kansen voor de raceauto's niet afhankelijk te laten zijn van de soort brandstof werd bij een aantal wedstrijden het gebruik van een oplossing van cubaan in benzine verboden.

Met een eenvoudig proefje, waarbij een druppel van de brandstof op (een vlak gedeelte van) de warme motorkap van een auto gelegd wordt, kan nagegaan worden of een wedstrijdrijder zich aan het verbod gehouden heeft.

1. 4p Geef de waarneming waaruit bij dit proefje blijkt dat een wedstrijdrijder geen cubaan in de benzine had.

Een raceauto die op benzine zonder cubaan rijdt, heeft een verbruik van 1 op 2,8. Dit betekent dat de auto 1 liter benzine (273 K) verbruikt op 2,8 gereden kilometers.

De raceauto kan zuiniger rijden door de benzine te vervangen door een oplossing van cubaan in benzine met 30 massaprocent cubaan.

1. 6p Bereken hoeveel kilometer de raceauto kan rijden op 1,0 liter van de oplossing van cubaan in benzine (273 K). Gebruik bij de berekening de volgende gegevens:
* de dichtheid van de oplossing van 30 massaprocent cubaan in benzine is 8,6⋅102 g L−l (273 K);
* bij verbranding van 1,0 mol cubaan in de auto komt 4,8⋅106 J vrij;
* bij verbranding van 1,0 liter benzine (7,5⋅102 g) in de auto komt 3,3⋅107 J vrij.

Aangenomen mag worden dat het aantal te rijden kilometers per liter brandstof evenredig is met het aantal joules dat bij verbranding van een liter brandstof vrijkomt.

## Glucosespiegel 2000-I(III)

In bloed wordt vaak het gehalte aan glucose bepaald.

De structuurformule van glucose kan als volgt worden weergegeven:



Men maakt bij de bepaling van het glucosegehalte in bloed gebruik van een zogenoemde glucosemeter en een strookje waarop twee elektroden zijn aangebracht. Op één van die elektroden is een laagje zilverchloride aangebracht. Op de andere elektrode is een laagje aangebracht met daarin het enzym glucoseoxidase.

Men steekt dit strookje met het uiteinde A (zie onderstaande figuur) in de glucosemeter. Daardoor wordt tussen de beide elektroden een gelijkspanning aangelegd, waarbij de elektrode met het enzym is aangesloten op de positieve pool van de gelijkspanningsbron.



Vervolgens wordt bij B op het strookje een druppeltje van 5,0 L (5,0 microliter) bloed in contact gebracht met beide elektroden. Er treedt dan elektrolyse op.

Aan de negatieve elektrode treedt daarbij een halfreactie op waarbij zilverchloride wordt omgezet in zilver(metaal) en Cl−. Aan de positieve elektrode vindt uitsluitend een halfreactie plaats waarbij alle glucose (C6H12O6) uit het druppeltje bloed in korte tijd wordt omgezet in gluconzuur (C6H12O7). Per mol glucose worden daarbij twee mol elektronen afgegeven.

1. 3p Geef de vergelijking van de halfreactie die optreedt aan de positieve elektrode. Vermeld daarin glucose en gluconzuur in molecuulformules.
2. 2p Geef de structuurformule van gluconzuur.

Tijdens de korte tijd dat alle glucose uit de 5,0 L bloed aan de positieve elektrode reageert, wordt het aantal coulomb gemeten dat door de glucosemeter stroomt. Het bijbehorende glucosegehalte van het bloed kan op de meter worden afgelezen in mmol L−l.

1. 5p Bereken het aantal coulomb dat tijdens de meting door de glucosemeter is gestroomd als op de meter een glucosegehalte van 6,2 mmol L−l wordt afgelezen. Maak bij de berekening onder andere gebruik van Binastabel 7.

Bij deze bepaling werkt glucose als reductor. Bloed bevat ook andere reductoren, maar deze reageren tijdens de korte tijd die de bepaling in beslag neemt, niet merkbaar. Bij het ontwerpen van de beschreven glucosemeter is ervoor gezorgd dat de snelheid waarmee glucose als reductor reageert, veel groter is dan de snelheid waarmee andere reductoren reageren.

1. 3p Leg aan de hand van een gegeven in deze opgave uit waaraan dat verschil in snelheid moet worden toegeschreven.

De beschreven glucosemeter is geschikt voor het bepalen van het glucosegehalte van bloed en zou ook gebruikt kunnen worden voor een glucosebepaling in bijvoorbeeld urine. De beschreven glucosemeter is echter niet zonder meer geschikt voor een gehalte bepaling van een oplossing die *uitsluitend* glucose als opgeloste stof bevat. Dit komt doordat oplossingen als bloed en urine een bepaald soort deeltjes bevatten die vrijwel ontbreken in een oplossing van uitsluitend glucose.

1. 3p Welke soort deeltjes is dat?

Van glucose bestaan drie soorten moleculen: het niet-cyclische glucose, waarvan de structuurformule in het begin van deze opgave is gegeven, èn twee soorten (-glucose en -glucose) waarvan de moleculen een cyclische structuur hebben. In een glucoseoplossing zijn niet-cyclisch glucose,
-glucose en -glucose met elkaar in evenwicht:

-glucose ⇌ niet-cyclisch glucose ⇌ -glucose

Men neemt aan dat van de drie soorten glucose alleen het niet-cyclische glucose in de genoemde glucosemeter als reductor reageert. Toch wordt met deze meter de concentratie van alle drie soorten glucose moleculen *samen* bepaald.

1. 4p Leg uit hoe dit laatste verklaard moet worden.

Het percentage niet-cyclisch glucose in een glucoseoplossing en in bloed is zeer klein. De bovengenoemde evenwichtssituatie kan worden voorgesteld als:

-glucose ⇌ -glucose

De waarde van de evenwichtsconstante *K* van dit evenwicht is bij 298 K gelijk aan 1,78.

1. 4p Bereken welk percentage van alle glucose in een glucoseoplossing van 298 K als -glucose voorkomt.

## Kaas en vlees 2000-I(IV)

Natriumtrifosfaat is een zout dat onder andere wordt toegepast bij de verwerking van kaas en vlees.

De formule van natriumtrifosfaat kan worden voorgesteld als NaxP3Oy. Natriumtrifosfaat wordt bereid uit een oplossing waarin de stoffen Na2HPO4 en NaH2PO4 in de molverhouding 2,0 : 1,0 in opgeloste vorm voorkomen. Als men zo'n oplossing verhit, treedt een reactie op tussen uitsluitend HPO42− ionen en H2PO4− ionen, waarbij steeds twee HPO42− ionen en één H2PO4− ion worden omgezet. Bij deze reactie ontstaan uitsluitend trifosfaationen en H2O moleculen. Door indampen van de oplossing ontstaat natriumtrifosfaat in vaste vorm.

1. 4p Leid uit bovenstaande gegevens de (verhoudings)formule van natriumtrifosfaat af.

De oplossing waarin de stoffen Na2HPO4 en NaH2PO4 in de molverhouding 2,0 : 1,0 in opgeloste vorm voorkomen, wordt in de industrie bereid in een continu proces. Hierbij worden opgelost fosforzuur (H3PO4) en een overmaat opgelost Na2HPO4 in een reactor geleid. In de reactor reageert het H3PO4 met een deel van het HPO42−:

H3PO4 + HPO42− → 2 H2PO4−

Andere reacties treden in de reactor niet op.

Hieronder is dit continue proces in een blokschema weergegeven.



De hoeveelheden opgelost H3PO4 en opgelost Na2HPO4 die per seconde in de reactor worden geleid, worden zo gekozen dat in de oplossing die de reactor verlaat, de molverhouding HPO42− : H2PO4− gelijk is aan 2,0 : 1,0.

In een bepaalde fabriek waarin dit continue proces plaatsvindt, wordt per seconde 11 mol opgelost Na2HPO4 in de reactor geleid.

1. 4p Bereken hoeveel mol opgelost H3PO4 men per seconde in de reactor moet leiden om de oplossing met de gewenste molverhouding HPO42− : H2PO4− = 2,0 : 1,0 te bereiden.

Om te controleren of in de oplossing die de reactor verlaat de molverhouding HPO42− : H2PO4− inderdaad 2,0 : 1,0 is, kan men de pH van die oplossing meten.

1. 4p Bereken de pH van de oplossing die de reactor verlaat als in die oplossing bij 298 K de molverhouding HPO42− : H2PO4− inderdaad 2,0 : 1,0 is.

In de praktijk blijkt het meten van de pH van de oplossing niet voldoende nauwkeurig te zijn om vast te stellen of in de oplossing die de reactor verlaat sprake is van de gewenste molverhouding.

Er wordt een andere manier gebruikt om de molverhouding HPO42− : H2PO4− nauwkeurig te bepalen.

Die andere manier is de bepaling van het zogenoemde NaP getal. Het NaP getal van een oplossing is de verhouding tussen het aantal natriumionen in die oplossing en het aantal fosforatomen (gebonden in de negatieve ionen) in die oplossing. Ter verduidelijking een voorbeeld: het NaP getal van een oplossing van natriumfosfaat (Na3PO4) is dus  = 3. Om vast te stellen of de oplossing van Na2HPO4 en NaH2PO4 die de reactor verlaat, de juiste samenstelling heeft, kan men twee achtereenvolgende titraties uitvoeren. De eindpunten van beide titraties worden bepaald met behulp van een pH-meter.

Eerst wordt de oplossing van Na2HPO4 en NaH2PO4 getitreerd met zoutzuur. Daarbij treedt uitsluitend de volgende reactie op:

HPO42− + H3O+ → H2PO4− + H2O

De oplossing die bij het eindpunt van deze titratie is ontstaan, wordt vervolgens getitreerd met natronloog. Daarbij treedt uitsluitend de volgende reactie op:

H2PO4− + OH− → HPO42− + H2O

Bij zo'n bepaling bleek voor de eerste titratie 0,90 mmol H3O+ en voor de tweede titratie 1,50 mmol OH− nodig te zijn. Uit deze titratiegegevens kan het NaP getal van de onderzochte oplossing berekend worden. Uit die berekening volgt dat de molverhouding HPO42− : H2PO4− in de onderzochte oplossing niet gelijk is aan 2,0 : 1,0.

1. 3p Leid van een oplossing waarin de molverhouding HPO42− : H2PO4− wèl gelijk is aan 2,0 : 1,0, het NaP getal, in twee significante cijfers, af.
2. 3p Leid, met behulp van de gegevens die bij de titraties zijn verkregen, het NaP getal van de onderzochte oplossing, in twee significante cijfers, af.

## TAED 2000-I(V)

De industriële bereiding van het wasmiddelbestanddeel TAED (tetraäcetylethyleendiamine) vindt plaats in een fabriek via de bereiding van het tussenproduct DAED (diacetylethyleendiamine). DAED heeft de volgende structuurformule:



DAED wordt bij het industriële proces gevormd in een reactor waarbij een stof X met azijnzuur reageert in de molverhouding 1 : 2. Bij die reactie wordt behalve DAED uitsluitend water gevormd.

1. 3p Geef de structuurformule van stof X.

Men verwijdert het water en laat het gevormde DAED in een andere reactor in dezelfde fabriek reageren met azijnzuuranhydride. Azijnzuuranhydride heeft de volgende structuurformule:



DAED en azijnzuuranhydride reageren in de molverhouding 1 : 2; daarbij ontstaan uitsluitend TAED en azijnzuur. De structuurformule van TAED is:



In een fabriek waarin TAED via een continu proces volgens bovengenoemde reacties gemaakt wordt, worden de stoffen zo efficiënt mogelijk gebruikt.

Eén van de onderstaande schema's geeft in de continu werkende fabriek de aan- en afvoer van stoffen weer.



1. 5p Leg uitgaande van de gegeven molverhoudingen uit welk van deze schema's de aan- en afvoer van stoffen in de fabriek juist weergeeft.